

## 論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	(甲)乙第 号	氏 名	Khairul Salleh Bin Basaruddin
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 高野 直樹
	副査	慶應義塾大学教授	工学博士 志澤 一之
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 荻原 直道
		慶應義塾大学准教授	Ph. D. 小國 健二
<p>(論文審査の要旨)</p> <p>学士(工学)、修士(工学)、Khairul Salleh Bin Basaruddin 君の学位請求論文は、「Three-Dimensional Morphology Analysis of Vertebral Trabecular Network Architecture Using Multi-Scale Method (マルチスケール法を用いた椎体海綿骨ネットワーク構造の3次元モルフォロジー解析)」と題し、7章から構成されている。</p> <p>椎体骨折リスクを予測し、予防することは骨粗鬆症患者のQOL(Quality of Life)向上に大きく寄与するが、骨密度だけで正確な予測を行うことができない。そこで、骨内部にある海綿骨の骨質に関する研究が盛んであり、計算バイオメカニクスの発展が期待されている。しかし、海綿骨の微細な骨梁構造は複雑な3次元構造をとるため、これまで荷重支持、荷重伝達のためのネットワーク構造としての解析はなされていなかった。本論文は均質化理論に基づくマルチスケール法を応用し、腰椎骨の海綿骨において自重を支える一次骨梁を抽出し、動的有限要素法を利用した3次元可視化に成功した。さらに、個体差を数理的に取り扱うための確率的イメージベース均質化法を開発し、過去の実験データの大きなばらつきを少数の献体データから予測する新規手法を開発した。</p> <p>第1章では、本研究を行うに至った着想、目的ならびにアプローチ法を述べ、第2章では、骨の形態、物性値等に関する実験ならびにモデリング・シミュレーションの研究と、計算力学分野における不確かさのモデリングに関するレビューを行っている。</p> <p>第3章では、本研究で用いる献体腰椎骨における海綿骨のマイクロCTイメージモデリング、注目する微視構造解析モデルの抽出を行っている。</p> <p>第4章では、均質化法による3次元モルフォロジー解析を行い、まず、微視構造を反映したマクロ特性の異方性からモルフォロジーの特徴を議論している。次に、自重を主に支える一次骨梁、水平方向に走行する二次骨梁を抽出し、それぞれの要素の体積割合を算出する解析手法を提案し、健康骨と骨粗鬆症骨の比較を行った。また、板状骨梁が荷重伝達を行う3次元ネットワーク構造においてハブの役割として機能し、板状骨梁の減少は骨の脆弱性を招くという知見を見出した。</p> <p>第5章では、前章で抽出した一次骨梁を立体的に可視化するために、動的有限要素法による大規模解析を行い、衝撃荷重下で応力波が一次骨梁を伝播する挙動を利用して、一次骨梁の連結性の視認性を大きく向上させることに成功した。</p> <p>第6章では、実験により得られている海綿骨のマクロ特性の大きなばらつきを計算バイオメカニクスにより解析するため、確率的イメージベース均質化法を新規開発した。不確かさの要因を分類し、各種の実験データに基づいて重要度を定めた上で、ナノスケールの生体アパタイト結晶配向に起因する異方性、モルフォロジーの個体差を考慮しつつ、その他の不確かさ要因を補正するパラメータを導入することで、頻繁に引用される実験データのばらつきを少数の献体データから予測することに成功した。</p> <p>最後に第7章では、本論文を通じて得られた知見をまとめると同時に、モデリングで用いた仮定を整理し、多孔質材料のマイクロ構造設計への応用等の今後の発展の可能性を論じている。</p> <p>以上要するに、本論文で提案された均質化法を核とした骨梁ネットワーク構造のモルフォロジー分析法、および確率均質化法によるばらつき予測法は、新規性に富み、計算力学・バイオメカニクス分野での学術的意義が高く、後者は工業材料のマイクロ構造設計への発展性という点でも工学的価値がある。よって、本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			
学識確認結果	学位請求論文を中心とした関連学術について上記審査委員会および特別研究第2(空間・環境デザイン工学専修)科目担当者間で試問を行い、当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。また、語学(英語)についても十分な学力を有することを確認した。		